

**ANALISIS DISTRIBUSI SUHU AKSIAL TERAS DAN PENENTUAN *Keff*
PLTN *PEBBLE BED MODULAR REACTOR* (PBMR) MENGGUNAKAN
METODE MCNP 5**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1



**Disusun oleh :
Agung Setiyo
J2D 005 156**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2010**

ABSTRACT

The axial temperature distribution and effective multiplication factor (K_{eff}) for PBMR 10 MWe which used uranium dioxide (UO_2) as fuel, graphite as moderator, and helium (He) gas as cooler with heterogenous reactor design which used geometry of reactor core finite cylinder has been investigated.

The axial temperature distribution of reactor core analyzed by splitting core reactor become 57 layers axially and every layer has height 14,9 cm. K_{eff} of reactor calculated by MCNP 5 with fuel enrichment variation from 7 to 10% and variation range 0,5%.

The result shows that reactor in critical condition with fuel enrichment 8,6% and average temperature of reactor core is 893,635 K.

Keywords : PBMR, MCNP, Temperature distribution, K_{eff}

INTISARI

Telah dianalisis distribusi suhu aksial teras dan faktor penggandaan efektif (k_{eff}) untuk reaktor tipe PBMR yang memiliki daya 10 MWe, menggunakan bahan bakar uranium dioksida (UO_2), moderator grafit dan berpendingin gas helium (He), serta menggunakan desain reaktor heterogen dengan geometri teras reaktor silinder berhingga.

Analisis distribusi suhu aksial teras reaktor dilakukan dengan membagi teras reaktor menjadi 57 layer secara aksial, dan setiap layer memiliki ketinggian 14,9 cm. Penghitungan k_{eff} reaktor dilakukan menggunakan metode MCNP 5 dengan variasi pengayaan bahan bakar 7 sampai 10% dan range variasi 0,5%.

Didapatkan hasil bahwa reaktor berada pada kondisi kritis dengan pengayaan bahan bakar sebesar 8,6%, dan suhu rata-rata teras reaktor adalah sebesar 893,635 K.

Kata kunci : PBMR, MCNP, distribusi temperatur, k_{eff}

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik bagi umat manusia merupakan kebutuhan utama, karena hampir dalam menjalankan semua aspek kegiatan hidupnya manusia membutuhkan energi listrik. Berbagai jenis pembangkit tenaga listrik diciptakan oleh para ahli untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Berbagai sumber energi dimanfaatkan mulai dari tenaga air, tenaga gas bumi, bahan bakar batu bara, bahan bakar minyak sampai sumber energi nuklir. (Supriatna, 2008).

Penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik akan meningkatkan emisi dari partikel SO_x , NO_x , dan CO_x . Saat ini, bahan bakar Pembangkit Listrik Konvensional (PLK) di Indonesia masih didominasi oleh penggunaan bahan bakar fosil, salah satunya adalah batubara. Penggunaan batubara untuk bahan bakar pembangkit listrik diperkirakan akan terus meningkat. Meskipun kandungan sulfur batubara Indonesia relatif kecil tetapi penggunaan dalam jumlah besar akan dapat meningkatkan emisi SO_2 sehingga dapat berdampak negatif terhadap manusia dan lingkungan hidup (Sugiyono, 2000). Selain itu, karena batu bara termasuk barang tambang yang tak terbaharukan dan jumlahnya semakin menipis, jika digunakan dalam jangka waktu yang lama, jumlahnya semakin menipis dan dapat menyebabkan pasokan energi nasional menjadi berkurang.

Salah satu dari sumber energi alternatif tersebut adalah energi nuklir. Energi nuklir dibangkitkan oleh reaksi pembelahan/fisi yang terjadi di dalam teras reaktor suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Pada dasarnya, PLTN sama seperti PLK, yaitu merubah energi panas menjadi energi listrik. Perbedaanya terdapat pada penghasil panas yang digunakan. PLK menggunakan pembakaran bahan fosil (minyak bumi atau batu bara), sedangkan pada PLTN menggunakan reaksi fisi nuklir sebagai penghasil panas. Energi nuklir telah terbukti secara signifikan mereduksi kandungan CO_2 di udara selama beberapa tahun. Hal ini disebabkan karena energi nuklir tidak mengemisikan CO_2 maupun gas pencemar lainnya seperti NO_x dan SO_x . Satu-satunya gas CO_2 yang dihasilkan dari

pembangkit listrik tenaga nuklir adalah dari aktivitas transportasi bahan bakar uranium mulai dari penambangan hingga ke pembuangan lestari.

Di Indonesia, terutama di luar Pulau Jamali (Jawa, Madura dan Bali), masih banyak daerah yang belum mendapatkan listrik. Di sebagian besar wilayah Indonesia bagian timur, seperti Papua dan Maluku, energi listrik dibutuhkan dalam daya kecil. Data tentang sebaran kebutuhan listrik di wilayah Indonesia selain Pulau Jawa dapat dilihat pada Tabel 1.1 berikut ini (Sardjono, 2007) :

Tabel 1.1 Rencana Pembangunan Tenaga Listrik Nasional

o	Lokasi Proyek	nit	Kapasitas (Mwe)
	PLTU Meulaboh		100-150
	PLTU Sibolga Baru (Sumut)		100-150
	PLTU Medan Baru (Sumut)		100-150
	PLTU Sumbar Pesisir selatan (Sumbar)		100-150
	PLTU Mantung (Babel)		10
	PLTU Air Anyer (Babel)		10
	PLTU Bangka Baru (babel)		25
	PLTU Belitung Baru (Babel)		15
	PLTU Bengkalis (Riau)		7
0	PLTU Selat Panjang (Riau)		5
1	PLTU Tanjung Balai Karimun Baru (Kepri)		7
2	PLTU Tarahan Baru (Lampung)		100-150
3	PLTU Pontianak Baru (Kalbar)		25
4	PLTU Singkawang Baru (Kalbar)		50
5	PLTU Asam-asam (Kalsel)		60-100
6	PLTU Palangkara (Kalteng)		60-100
7	PLTU Sampit Baru (Kalteng)		7
8	PLTU Amurang Baru (Sulut)		25
9	PLTU Sulut Baru (Sulut)		25
0	PLTU Gorontalo Baru (Gorontalo)		25
1	PLTUBone (Sulsel)		50
2	PLTU Kendari (Sultra)		10

3	PLTU Bima (NTB)		7
4	PLTU Lombok Baru (NTB)		25
5	PLTU Ende (NTT)		7
6	PLTU Kupang Baru (NTT)		15
7	PLTU Amban Baru (Maluku)		7
8	PLTU Ternate (Maluku Utara)		7
9	PLTU Timika (Papua)		7
0	PLTU Jayapura Baru (Papua)		10

Salah satu jenis PLTN yang sedang dikembangkan saat ini adalah reaktor *Pebble Bed Modular Reactor* (PBMR). Reaktor ini termasuk ke dalam jenis *High Temperature Gas-cooled Reactor* (HTGR) atau reaktor bersuhu tinggi berpendingin gas. PBMR menggunakan teras berbentuk silinder dengan gas helium sebagai pendingin dan grafit sebagai moderator. Selain itu, PBMR menggunakan bahan bakar Uranium Dioksida (UO_2) yang berbentuk bola dengan lapisan TRISO (*tri structural isotropic*). PLTN PBMR adalah reaktor berdaya menengah, sehingga sangat cocok untuk daerah-daerah terpencil yang membutuhkan listrik dalam daya kecil.

Pembangunan sebuah reaktor PLTN harus memperhatikan faktor keamanan sampai perhitungan neutronik dari bahan bakar reaktor. Salah satu faktor yang mempengaruhi optimalnya reaktor adalah besarnya pengkayaan bahan bakar yang digunakan. Metode *Monte Carlo N-Particle* (MCNP) adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mensimulasikan proses di dalam teras reaktor. Metode *Monte Carlo* melakukan simulasi secara acak (random) dengan pengulangan yang banyak sehingga dapat menggambarkan proses secara realistik. Keunggulan dari metode ini adalah dapat digunakan untuk simulasi pada geometri yang rumit.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka diperlukan analisis tentang besarnya pengkayaan bahan bakar agar tercapai kondisi kritis dan reaktor dapat bekerja secara optimal. Selain itu, diperlukan analisis tentang distribusi suhu teras reaktor untuk mengetahui daya termal reaktor.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Reaktor yang digunakan adalah reaktor tipe PBMR dengan bahan bakar UO_2 , berpendingin He, menggunakan moderator grafit, dan berdaya 10 MWe.
2. Geometri teras reaktor PBMR yang digunakan berbentuk silinder berhingga.
3. Desain teras dan bahan bakar reaktor disesuaikan dengan bentuk reaktor PBMR yang sedang dikembangkan di Afrika Selatan.
4. Pengkayaan bahan bakar sebesar 7 sampai 10 % dengan *range* variasi sebesar 0,5 %.
5. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program *Monte Carlo N-Particle* (MCNP) versi 5.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk :

1. Mendapatkan besarnya faktor pelipatan efektif (k_{eff}) neutron dengan variasi pengkayaan bahan bakar sebesar 7 sampai 10 % menggunakan program MCNP versi 5.
2. Menganalisis distribusi suhu aksial teras reaktor PBMR.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan didapat dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Mengetahui karakteristik reaktor jenis PBMR yang menggunakan bahan bakar UO_2 , berpendingin gas He dan moderator grafit pada kondisi kritis.
2. Sebagai dasar pembuatan teras reaktor PLTN jenis PBMR yang menggunakan bahan bakar UO_2 , pendingin gas He, dan moderator grafit.
3. Menambah pengetahuan aplikasi penggunaan program MCNP versi 5.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, Muhlis. 1997. *Pengantar Teknologi Nuklir*. PT Rineka Cipta : Jakarta.
- Aziz, Abdul. 2006. *Desain Teras AHFR (Advanced High Temperature Fast Reactor) Tipe Pebble Bed Berbahan bakar Uranium Torium Karbida*. Yogyakarta: Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada.
- Briesmeister, J.F. 2003. *MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 5 Volume I*. Los Alamos : LA-13709-M. Los Alamos National Laboratory.
- Cullen, D. E. 1986. *Nuclear Cross Section Preparation*, in Y. Ronen, ed., CRC Handbook of Nuclear Reactor Calculations I, CRC Press, Boca Raton, FL.
- Darwin, Sitompul. 1989. *Prinsip-prinsip Konversi Energi*. Medan: Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara.
- DOE Fundamentals Handbook. 1993. *Nuclear Physics and Reactor Theory Volume 2*. Washington D.C.: Department of Energy.
- Duderstadt, J.J. dan L.J. Hamilton. 1976. *Nuclear Reactor Analysis Departement of Nuclear Engineering*. Michingan: The University of Michingan Ann Arbor.
- Gee, Donald. 2002. *The Pebble Bed Modular Reactor*. <http://www.eas.asu.edu.html>. 18 April 2010.
- Glasstone, S. 1952. *The Element of Nuclear Reactor Theory*. New York: D. Van Norstrand Company, Inc.
- Hari, S.B. 2009. *Energi Nuklir, Pengertian dan Pemanfaatannya*. www.netsains.com. 18 April 2010.
- Herhady, R. Didiek dan Sukarsono, R. 2007. *Pengaruh Suhu dan Waktu Sintering Terhadap Kualitas Bahan Bakar Kernel Uo₂ dalam Furnace Jenis Fluidized Bed*. Prosiding Seminar Nasional ke-13 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN.
- Lamarsh, J.R. 1965. *Introduction To Nuclear Reactor Theory*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Matzie, R. dkk. 2004. *Pebble Bed Modular Reactor-The First Generation IV To Be Contructed*. Jurnal Nuclear Energy. Quen Elizabeth II Conference centre. UK.
- Melese, G. dan Katz, R. 1984. *Flow Design of Helium-Cooled Reactors*. American Nuclear Society, LA Grange Park, Illinois.
- Pramuditya, Syeilendra. 2007. *Pengembangan Kode Komputer Terintegrasi untuk Studi Desain Awal PLTN Jenis PWR*. <http://www.tesis.pdf>. 18 April 2010.
- Pramutadi, A. dan Su'ud, Z. 2006. *Studi Desain Reaktor Temperatur Tinggi Berumur Panjang Tanpa Pengisian Ulang Bahan Bakar Menggunakan Siklus Thorium*. Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir XVII (51-62). Bandung.
- Ridwan, M. dkk. 1986. *Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*. Jakarta: Badan Tenaga Atom Nasional.
- Rusli, Amir. 2007. *Alternatif Teknologi Maju Sebagai Pemasok Energi di Kawas-an Timur Indonesia (KTI)*. BATAN.
- Sardjono, Yohannes. 2007. *Program Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik yang Menggunakan Batubara*. Presentasi Tim Koordinasi Percepatan Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik. BATAN, Yogyakarta.
- Sekitomo, Hiroshi. 2007. *Nuclear Reactor Theory*. Tokyo Institute of Technology.
- Sriyono. 2008. *Studi Perilaku Oksidasi Alloy-617, Haynes-230, Hastelloy-X pada Lingkungan Helium Temperatur Tinggi HTGR*. Sigma Epsilon Vol.12 No. 4. BATAN.
- Sugiyono, Agus. 2008. *Prospek Penggunaan Teknologi Bersih untuk Pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Batubara di Indonesia*. Jurnal Teknologi Lingkungan. Vol.1. No.1 (90-95).
- Supriatna, Piping. 2008. *Konsep Rancangan Sistem Pemurnian Gas Pendingin Primer Pada High Temperature Reactor (HTR)*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir. Yogyakarta.
- Wirawan, Ayi. 2010. *Desain Bahan Bakar PLTN Tipe PBMR (Pebble Bed Modular Reactor) 150 MW Menggunakan Program MCNP 5 (Monte Carlo N-Particle)*. Skripsi. Yogyakarta: Teknik Fisika Universitas Gajah Mada.
- Zuhair dan Suwoto. 2007. *Studi Pemodelan Kernel Bahan Bakar Dan Perhitungan Kritikalitas Kisi Kubik Infinit VHTR*. Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir. BATAN

